ZOOLOGISCHE STUDIEN

VON

DR. EMIL SELENKA
PROFESSOR IN ERLANGEN.

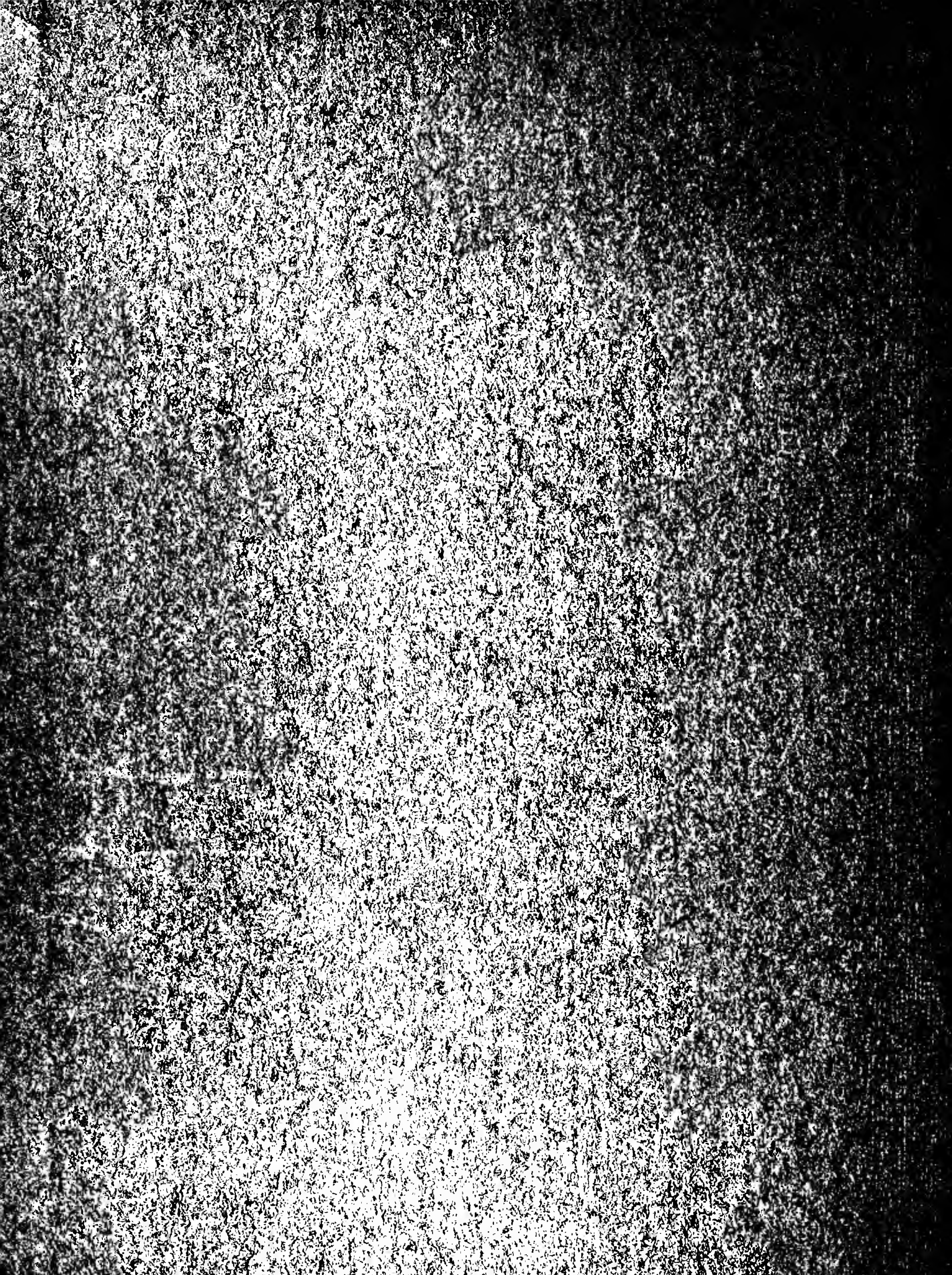
I.

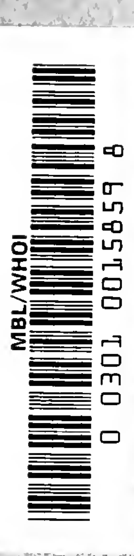
BEFRUCHTUNG DES EIES VON TOXOPNEUSTES VARIEGATUS.

EIN BEITRAG ZUR LEHRE VON DER BEFRUCHTUNG UND EIFURCHUNG.

MIT DREI TAFELN.

LEIPZIG,
VERLAG VON WILHELM ENGELMANN.
1878.




MBL/WHOI
0 0301 0015859 8

ZOOLOGISCHE STUDIEN

VON

DR. EMIL SELENKA
PROFESSOR IN ERLANGEN.

I.

BEFRUCHTUNG DES EIES

VON

TOXOPNEUSTES VARIEGATUS.

EIN BEITRAG ZUR LEHRE VON DER BEFRUCHTUNG UND EIFURCHUNG.

MIT DREI TAFELN.

LEIPZIG,
VERLAG VON WILHELM ENGELMANN.
1878.

BEFRUCHTUNG DES EIES

VON

TOXOPNEUSTES VARIEGATUS.

EIN BEITRAG ZUR LEHRE VON DER BEFRUCHTUNG UND EIFURCHUNG

VON

DR. EMIL SELENKA
PROFESSOR IN ERLANGEN.

LEIPZIG,
VERLAG VON WILHELM ENGELMANN.
1878.

Indem ich einige zoologische Studien, welche ich während eines mehrmonatlichen Aufenthaltes an der Bai von Rio de Janeiro anstellte, hiermit meinen Fachgenossen vorlege, fühle ich mich zugleich gedrungen, der Königlichen Akademie der Wissenschaften zu Berlin öffentlich meinen Dank auszusprechen für die Unterstützung, welche mir einen Ausflug in die Tropen ermöglichte.

Gleichzeitig nehme ich Gelegenheit, den Herren Staatsminister Dr. von Lutz und Ministerialrath Dr. von Völk zu danken für Zuwendung einer Unterstützung behufs Beschaffung von werthvollem Sammlungsmaterial.

EINLEITUNG.

Die Lehre von der Reifung, Befruchtung und Furchung des thierischen Eies ist in den letzten Jahren in eine neue Phase getreten.

In übereinstimmender Weise ist von mehreren Forschern gezeigt worden, dass das Keimbläschen des Eies ein echter Zellkern ist, der jedoch, um die Eifurchung einzuleiten, zuvor einen Verjüngungsprocess durchmachen oder wenigstens eine Volumensabnahme erfahren muss, indem er einen Theil seiner Substanz in Form von Richtungskörpern ausstösst, während der im Dotter zurückbleibende Theil, der »Eikern«, mit dem Spermakern verschmilzt und den »Furchungskern« bildet, d. h. jenen Kern, welcher die Eifurchung einleitet.

Zur Zeit, als die nachstehenden Untersuchungen angestellt wurden, waren jedoch einige wichtige Punkte noch nicht zur vollen Klarheit geführt, wie das Auftreten von Richtungskörpern bei den Seeigeln, die direkte Umwandlung des Spermatozoons in den Spermakern überhaupt, sowie die Verschmelzung desselben mit dem Eikern; ebensowenig war die Ableitung des Eikerns aus der Materie des Keimbläschens strikt bewiesen, noch die Umwandlung des Furchungskerns in die Kernspindel. Seitdem sind durch die Arbeiten von O. Hertwig

und FOL einige dieser Fragen ganz oder nahezu erledigt. So kommt es, dass mehrere der in einer vorläufigen Mittheilung schon niedergelegten Resultate hier nachklappen. Das Eindringen des Spermatozoons in das Ei, die Umwandlung des Spermatozoenköpfchens in den Spermakern, des letzteren Verschmelzung mit dem Eikern, die Differenzirung des Furchungskerns zur Kernspindel, die Verschmelzung der Kernplattenelemente sollen hier aber genauer beschrieben werden, als es bisher geschehen ist, auch auf das Wachsthum des Eierstockseies näher eingegangen werden.

Die nachfolgenden Mittheilungen beziehen sich ausschliesslich auf Toxopneustes variegatus, einen Seeigel, den ich mir während eines mehrmonatlichen Aufenthaltes in Rio de Janeiro im Juni 1877 in beliebiger Menge verschaffen konnte. Die Untersuchungen sind im Wesentlichen an frischen, in feuchten Kammern am hangenden Tropfen untersuchten Eiern angestellt, an zahlreichen, nach der Befruchtung von Minute zu Minute in einem Gemisch von Chrom- und Osmiumsäurelösung gehärteten und später in toto eingelegten oder geschnittenen Eiern controlirt und ergänzt.

Inhalt.

I.

Das unbefruchtete Ei.

1. Das Eierstocksei.

Die Bildung und Loslösung der Eier geschieht in folgender Weise.

Bei jungen Seeigeln zeigen die verzweigten Ovarialschläuche einen einfachen inneren Epithelbelag. Querschnitte durch reife Eierstöcke lehren jedoch, dass diese Epithelzellen zweierlei Schicksal erfahren: entweder schnüren sie sich vollständig ab, und dieses sind die eigentlichen Eier, oder sie bleiben als Mutterzellen liegen und lassen durch Zelltheilung wiederholt Tochterzellen entstehen, welche den Eizellen nur zur Nahrung dienen und daher als Nährzellen (Ludwig) oder Abortivzellen zu bezeichnen sind. Auf welche Weise die abgeschnürten Eizellen ersetzt werden, habe ich aus meinen Präparaten nicht eruiren können.

Was zunächst die Abortivzellen angeht, so verrathen dieselben durch die bei ihnen häufige Kettenform schon ihren gemeinsamen Ursprung. In Gestalt von Zapfen und Schläuchen ragen sie zuweilen frei in das mit Flüssigkeit erfüllte Lumen des Ovarialschlauchs hinein (Fig. 1), legen sich aber in der Regel dicht auf die Eizellen, deren Ernährung sie auf weiter unten zu beschreibende Weise vermitteln, und gehen endlich zu Grunde. Reste dieser sterilen oder Arbotiv-Eier finden sich in Form von flottirenden Lappen und Körnchen stets reichlich bei solchen Weibchen, in welchen schon Eier zur Ausbildung gekommen waren. An den echten Eiern bleibt niemals auch nur eine Spur der Substanz der Abortivzellen hängen. Es bestehen diese Nährzellen ursprünglich aus einem klaren Protoplasma, Zellkern und Kernkörperchen; auch ist eine Membran an zerrissenen Zellen hie und da nachzuweisen.

Die Eier entstehen durch Wachsthum und Abschnürung der Ovarial-Epithelzellen selbst. Ihre Nahrung erhalten sie 1) aus den Abortivzellen, 2) aus dem in dem Ovarialraum befindlichen Blutplasma, 3) aus dem durch die Wandung des Ovarialschlauches diffundirenden Blutplasma der Leibeshöhle. Für gewöhnlich kommen alle drei Quellen der Er-

nährung zur Geltung, indem die Eizelle, nachdem sie gewachsen und häufig Birnenform angenommen hat, mit dem mehr oder weniger dicken Stiele an der Ovarial-Wandung hängen bleibt, um offenbar durch denselben von der Blutflüssigkeit des Leibesraumes aufzunehmen, während der grösste Theil des Zellenleibes, von Nährzellen umlagert, in das innere Lumen der Eierschläuche hervorragt (Fig. 1). In selteneren Fällen löst sich das Ei aber schon früh von der Ovarialwandung los, bleibt in den umlagernden Nährzellen eingebettet, und kann dann nur von den Nährzellen und der sie umspülenden Flüssigkeit Zufuhr erhalten. In meiner vorläufigen Mittheilung hatte ich diese Verhältnisse noch nicht richtig angegeben.

Während des Wachsthums erfahren die Eier folgende merkwürdige Veränderungen.

1. Wenn der Dotter ungefähr auf die Hälfte seines definitiven Durchmessers herangewachsen ist, lagert sich auf demselben eine sehr dünne, pellucide und körnchenfreie Protoplasmaschicht ab, die man die mittlere Dotterschicht nennen kann, im Gegensatz zu der inneren und der später sich auflagernden äusseren körnigen Dotterschicht (Fig. 2—4). Was die morphologische oder physiologische Bedeutung dieser mittleren Dotterschicht sei, weiss ich nicht; sie verhält sich bei der sogleich zu besprechenden Pseudopodienbildung der äusseren Dotterschicht passiv und erleidet nur geringe Conturveränderungen. Auf jeden Fall bildet diese mittlere Dotterschicht zwischen der inneren und äusseren eine Grenze, welche die innere körnige Dotterschicht von der Theilnahme an der Bildung der Pseudopodien ausschliesst. Mit der Rückbildung der Pseudopodien der äusseren Dotterschicht verschwindet zugleich die mittlere Schicht, und der Dotter erscheint dann gleichmässig körnig (Fig. 5).

Eine Sonderung des Dotters in äussere und innere Schicht beschrieb schon E. van Beneden; zwischen beiden lässt sich aber noch eine mittlere, freilich sehr dünne Schicht erkennen.

2. Sobald die Ablagerung der äusseren Dotterschicht begonnen hat, entsteht der homogene, anfangs dünnflüssige oder schleimige, später an Consistenz zunehmende Gallertmantel, vermuthlich als Abscheidungsprodukt der ersteren. Derselbe dient dem Dotter, welcher bis nach erfolgter Einbohrung des Spermatozoons nackt bleibt, zum Schutze, und giebt zugleich das Bett ab für die die Ernährung und das Wachsthum des Eies vermittelnden Pseudopodien.

3. Die körnchenarme peripherische Grenzschicht der äusseren Dotterschicht entsendet in den Gallertmantel blasse Pseudopodien, die anfangs vereinzelt als plumpe oder büschelförmige Fortsätze von rasch wechselnder Gestalt auftreten, mit der Substanzzunahme der äusseren Dotterschicht aber immer zahlreicher und feiner werden, und endlich in Form von zahllosen unbeweglichen radiär stehenden Strahlen den Gallertmantel bis zu seiner Peripherie durchsetzen. Dass diese Dotterradien die Ernährung vermitteln, erleidet kaum einen Zweifel; es spricht für diese Annahme direkt der Umstand, dass die umliegenden Abortivzellen mit der Massenzunahme der äusseren Dotterschicht schrumpfen, ferner dass die radiären Fortsätze sich aus dem Gallertmantel zur Dotteroberfläche zurückziehen, sobald das Ei seine endgültige Grösse

erreicht hat. Die Radien im Gallertmantel erhalten sich als feine Kanäle noch bis nach der Befruchtung, wo der Gallertmantel überhaupt auffallend rasch quillt und schwindet.

Der Dotter erleidet während der Aussendung der Pseudopodien bedeutende Gestaltveränderungen: der Contur wird höckrig und unregelmässig, und erst wenn das Ei seine definitive Grösse erreicht hat, nimmt er wieder kugelförmige Gestalt an. Dann wird das Ei frei, indem es sich ohne Zerreissung oder Unterbrechung des Gallertmantels von der Ovarialwandung losmacht und die von den Abortivzellen gebildete sackartige Hülle durchbricht.

Das frei gewordene, in den Binnenraum des Ovarialschlauches gelangte Ei besteht demnach von Innen nach Aussen aus folgenden Theilen:

1. dem schon etwas geschrumpften Keimbläschen mit dem Keimfleck;
2. dem nackten körnigen Dotter, dessen peripherische Grenzschicht körnchenarm ist;
3. dem von feinen Kanälen durchsetzten Gallertmantel.

2. Das frei im Eierschlauch liegende Ei

erleidet noch weitere Veränderungen.

Das Keimbläschen war anfangs kuglig und enthielt einen wandständigen Keimfleck. Mit dem Auftreten der Dotterpseudopodien und der Contractionen des Dotters beginnt auch das Keimbläschen sich umzuwandeln: es erscheint durch Vorsprünge des Dotters unregelmässig conturirt, seine Membran faltet sich wechselnd, sein Volumen nimmt ab, indem offenbar Kernsaft durch seine Membran hindurch in das umgebende Protoplasma diffundirt. Sodann treten im Keimfleck Vacuolen auf, die, wie mir schien, eine vollständige Auflösung desselben anbahnten. Die mangelhafte Durchsichtigkeit des Dotters gestattete jedoch nicht, über diesen Vorgang ins Klare zu kommen, und habe ich um so mehr Veranlassung, meiner Beobachtung zu misstrauen, als O. Hertwig an den Eiern von Asteracanthion eine weitere Differenzirung des Keimflecks wahrgenommen hat.

Auch meine Beobachtungen über die Metamorphose des Keimbläschens zur »Richtungsspindel« (Bütschli) oder »amphiaster de rebut« (Fol), welche sich bei dem frei im Ovarialschlauch schwimmenden Ei vollzieht, sowie die Abschnürung der Richtungskörper, wie ich sie in meiner vorläufigen Mittheilung wenigstens für das Seeigelei als neu mittheilte, sind seither durch die Beobachtungen von Fol und Hertwig überholt, sodass ich mich begnügen will, hier auf die Thatsache hinzuweisen, dass die Richtungsspindel zweimal hintereinander ein Richtungskörperchen ausstösst, welche in das Lumen des Ovarialschlauches gelangen und hier untergehen, während der Rest desselben im Dotter verbleibt und zum Eikern (O. Hertwig) wird.

Die Deutung E. van Beneden's, der den Eikern als weiblichen Pronucleus, den Spermakern als männlichen Pronucleus bezeichnet, hat Anklang gefunden, ob mit Recht, ist augen-

blicklich kaum zu entscheiden. Denn verbindet man mit dem Worte Pronucleus einen morphologischen Sinn, wie doch geboten ist, so darf weder der Spermakern noch der Eikern die ganze Rolle eines Zellkerns spielen können. Vielleicht geben parthenogenetisch sich entwickelnde Eier hierüber Auskunft; denn wenn es sich zeigen sollte, wie fast zu vermuthen steht, dass bei diesen nach Abstossung der Richtungskörper der Eikern allein schon die Fähigkeit besitzt, die Eifurchung einzuleiten, so hat dieser wenigstens den morphologischen Werth eines Zellkerns. Der Umstand, dass es bisher nicht gelungen ist, bei den auf parthenognetischem Wege sich entwickelnden Eiern der Rotatorien die Richtungskörper aufzufinden, dass also hier ein Verjüngungsprocess oder eine Substanzveränderung des Eizellen-Kernes nicht stattfindet, redet allerdings der Auffassung van Beneden's das Wort. Ich hoffe diese Frage bei einer anderen Gelegenheit noch lösen zu können. Die Richtigkeit der von Greef bei Asteracanthion rubens beschriebenen Fortpflanzung aus unbefruchteten Eiern scheint mir noch nicht sicher genug begründet; ebensowenig vermag ich andere hier einschlägige Angaben zu sicheren Schlussfolgerungen zu verwerthen. Neue Beobachtungen allein können hier die Entscheidung geben.

Während die Richtungskörper austreten, ergiesst sich mit ihnen zugleich ein Tropfen körnchenfreien Protoplasmas nach Aussen, welches alsbald den ganzen Dotter umfliesst und eine mit Eigenbewegung begabte automatische Rindenschicht darstellt. Das Schicksal derselben ist ein dreifaches; ihre äussere Grenzschicht hebt sich später als Dotterhaut ab, ein Theil der pseudopodienbildenden Substanz dringt mit dem Spermatozoon bis in den hellen Hof der ersten Dotterstrahlen-Sonne (eine Thatsache, welche ich mehrere Male beobachten konnte, aber für zufällig und bedeutungslos halten muss), der grösste Theil aber zieht sich während der beginnenden Furchung in die Furchungshöhle und hilft den Gallertkern bilden.

Der Ort, wo die Richtungskörper ausgetreten sind, bleibt als kleiner Dotterhügel dauernd erkennbar. Durch ihn legt sich mit seltenen Ausnahmen später die erste Furchungsebene.

Das befruchtungsfähige Ei besteht demnach aus folgenden Theilen:

1. Der stets excentrisch gelegene Eikern. Er erscheint homogen, ohne Kernkörper.
2. Der feinkörnige Dotter mit dem Dotterhügel.
3. Die automatische Rindenschicht.
4. Der von zahlreichen feineren Porenkanälen durchsetzte Gallertmantel.

Der Ansicht Fol's, dass die zarte Membran, welche sich nach Anbohrung des Dotters durch das Spermatozoon von der automatischen Rindenschicht abhebt, nicht präexistire, sondern erst unmittelbar vor ihrer Abhebung gebildet werde, kann ich nur beipflichten. Denn während anfangs die Rindenschicht von den Spermatozoen leicht angebohrt wird, so setzt die sich alsbald abhebende Dotterhaut denselben ein unüberwindliches Hinderniss entgegen.

II.

Die Befruchtung.

---

1. Das Spermatozoon.

Wenige Minuten nach der Vermischung der reifen weiblichen und männlichen Geschlechtsstoffe im Seewasser vollzieht sich die Befruchtung. Die Spermatozoen bleiben zunächst mit ihren Köpfchen an der Peripherie des Gallertmantels hangen, was um so leichter geschieht, als die Oberfläche desselben wollig und rauh erscheint. Hat man — wie es den natürlichen Verhältnissen wohl am besten entspricht — nicht allzureichlich von der Samenflüssigkeit verwendet, so dringen nur ein oder wenige Samenfäden in den Gallertmantel ein; waren dagegen die Spermatozoen in sehr grossem Ueberschuss vorhanden, so kann die Zahl der bis zum Dotter vordringenden wohl bis zu zwölf und mehr steigen, jedoch nicht viel höher, da das Anstechen und Durchbohren des Gallertmantels immerhin einige Zeit erfordert, und wie weiter unten gezeigt wird, die Schwierigkeit der Passage zunimmt, sobald nur ein einziges Spermatozoon erst in den Dotter eingedrungen ist.

Es lässt sich leicht beobachten, wie es dem Spermatozoon erst nach längerer bohrender Bewegung gelingt, sich in den Gallertmantel hineinzuarbeiten, wie dann aber das Vorrücken je näher dem Dotter, desto leichter und rascher von Statten geht, woraus man schliessen kann, dass die Consistenz des Gallertmantels nach innen zu abnimmt; in der unmittelbaren Nähe des Dotters wird er geradezu flüssig; denn sobald das Spermatozoon hier angelangt ist, schwimmt es oft plötzlich, wie aller Hemmnisse befreit, rasch und leicht auf der Rindenschicht umher.

Der vom Spermatozoon einmal durchbohrte Kanal bleibt wegsam; er wird nicht selten von ein- und wiederauswandernden Spermatozoen mit Leichtigkeit passirt. Der Umstand, dass die Samenfäden stets in radiärer Richtung den Gallertmantel durchbohren, beweist, dass die Porenkanäle den Weg vorzeichnen; da letztere jedoch dünner sind, als das Köpfchen der Samenfäden, so setzen sie denselben immerhin einige Schwierigkeiten entgegen.

Es ist mir aufgefallen, wie das Spermatozoon häufig gerade in nächster Nähe des Dotterhügels in den Gallertmantel eindringt. Offenbar ist hier der Weg praktikabler, sei es weil an dieser Stelle die Richtungskörper ausgetreten sind, sei es, dass diese Stelle zugleich den Ort bezeichnet, wo das gestielte Ei bis kurz vor seiner Loslösung mit der Ovarialwandung in Verbindung stand, und dass darum hier der Gallertmantel weicher ist.

So ist es denn begreiflich, dass das Spermatozoon in der Regel sofort mit der stiletförmigen Spitze auf den Dotterhügel stösst und in diesen unmittelbar eindringt, während der fadendünne Schwanz noch im Gallertmantel steckt! In anderen Fällen schwimmt dasselbe eine halbe bis mehrere Minuten lang auf der Rindenschicht hin und her, bis es bei dieser peitschenartigen Bewegung gelegentlich mit dem Köpfchen gegen den Dotterhügel stösst. Die Spitze dringt nun nach einigem Bohren in die Rindenschicht ein. Sofort, nachdem dies geschehen, wird die Rindenschicht in ihrer ganzen Ausdehnung runzelig, und es hebt sich innerhalb ein bis zwei Minuten eine feine Membran von derselben ab, im Umkreise des vom Samenfaden angebohrten Platzes beginnend und sich rasch über den ganzen Umfang der Rindenschicht erstreckend (Fig. 9—11). Hie und da bleibt wohl noch kurze Zeit ein Protoplasmafaden erhalten (Fig. 11 und 13, *y*), der jedoch bald zerreisst und die Dotterhaut von der Rindenschicht vollständig isolirt. Diese Dotterhaut setzt den nachfolgenden Spermatozoen einen unüberwindlichen Widerstand entgegen, verhindert dieselben also, in den Dotter einzudringen. Unter abnormen Verhältnissen, wenn z. B. die unbefruchteten Eier zu lange im Seewasser gelegen haben, hebt sich die Dotterhaut nur ganz langsam ab: *nur dann* oder wenn mehrere Spermatozoen *zugleich* die automatische Rindenschicht angebohrt hatten, können mehr als ein Spermatozoon in den Dotter gelangen.

Durch die schlagende Schwanzbewegung bringt das eingedrungene Spermatozoon den Dotterhügel in heftige Erschütterung. Das ganze Protoplasma der Rindenschicht bleibt in Bewegung und häuft sich rings um das Köpfchen des Spermatozoons an, dasselbe in Gestalt eines konischen Zapfens umfassend, um sich endlich büschelartig über demselben auszubreiten (Fig. 10—12).

Mit dem tieferen Eindringen des Samenelements in den Dotter selbst senkt sich auch dieser Protoplasmabüschel in das Ei hinein; es bildet sich dann an dieser Stelle eine grubenartige Einsenkung, aus deren Mitte der bald unbeweglich werdende Schwanz noch nach längerer Zeit als feiner Faden hervorragt, wie es auch O. Hertwig schon am Ei des Toxopneustes lividus wahrgenommen hat.

Es verdient hervorgehoben zu werden, dass das Spermatozoon nicht nur am Dotterhügel, sondern auch an jeder beliebigen anderen Stelle in den Dotter einzudringen vermag, ohne dass darum die Weiterentwickelung irgend eine Veränderung oder Schädigung erlitte. Unter wenigstens hundert Fällen habe ich mich wohl ein Dutzend Mal überzeugen können, wie dies geschah; doch ist das Eindringen des Spermatozoons am Dotterhügel gewiss der gewöhnliche Fall.

Bisweilen sieht man auch mehrere Samenelemente zugleich oder unmittelbar nach einander sich entweder am Dotterhügel allein oder an beliebigen verschiedenen Orten einbohren. Ueber deren Schicksal weiter unten.

Kaum hat sich nun die Dotterhaut von der Rindenschicht abgehoben, so verflüssigt sich der Gallertmantel vollständig; nach fünf Minuten ist keine Spur mehr von ihm zu entdecken; sei es, dass derselbe zu Grunde geht, sei es, dass seine verflüssigte Masse auf dem Wege der Diffusion durch die sich ausbreitende Dotterhaut hindurchtritt; letzterer Fall ist mir der wahrscheinlichere, da ja die Verflüssigung des Gallertmantels von innen nach aussen fortschreitet, vielleicht in gleichem Maasse, als die Dotterhaut sich ausdehnt, bis diese etwa den Umfang des Gallertmantels erreicht hat.

Durch selbständige Bewegung dringt nun das Spermatozoon in den Dotter ein, mit dem heftig hin- und herschlagenden Köpfchen die Dotterkörnchen durcheinander peitschend*). Ist dasselbe aber bis ein Zwölftel oder ein Achtel des Eidurchmessers in gerader oder schräger Richtung vorgedrungen, so sistiren die Eigenbewegungen fast plötzlich, und innerhalb einer halben Minute bildet sich rings um den Kopf des Spermatozoons jene bekannte, von Fol zuerst beobachtete und abgebildete radiäre Dotterstrahlung. Drangen abnormer Weise mehrere Samenelemente ein, so entsteht um jeden ihrer Köpfe jene Sonnenfigur.

Binnen einiger Minuten dringt das Spermatozoenköpfchen nun bis in das Centrum des Eies vor und bleibt hier so lange liegen, bis auch der Eikern hier eintrifft. Bei dieser Wanderung nehmen die das Spermatozoenköpfchen umstellenden Radien körnchenfreien Dotterprotoplasmas an Zahl und Länge immer mehr zu, während im Centrum derselben durch Ansammlung körnchenarmen Protoplasmas ein »heller Hof« erscheint, in dessen Mitte das Spermatozoenköpfchen liegt.

Langsam beginnt nun der Hals des Spermatozoenköpfchens zu schwellen. Ich konnte wiederholt wahrnehmen, wie er an Volumen zunimmt, während er immer noch mit dem Samenschwänzchen, welches in einer körnchenfreien Strasse von Dotterprotoplasma liegt, in Verbindung steht. Weiter beobachtete ich, wie die Spitze des Spermatozoons, die durch ihre stark lichtbrechende Eigenschaft leicht erkenntlich ist, sich vom Hals desselben loslöst, von dem überall in Bewegung befindlichen Dotterprotoplasma fortgeführt wurde und sich endlich dem Auge entzog; offenbar wird dieselbe resorbirt, sowie auch der Schwanz.

Der Hals des Spermatozoons nimmt aber stetig an Grösse zu, bis er ungefähr den Dritteldurchmesser des Eikerns erreicht hat. Auf dieser Grösse erhält er sich, bis die Verlöthung mit dem Eikern vollzogen ist; erst danach erreicht er die Grösse des Eikerns, wie weiter unten gezeigt werden soll.

---

*) Ganz dieselbe Erscheinung habe ich wiederholt als ganz normalen Vorgang in den Eiern von Unio batava kennen gelernt.

2. Der Eikern.

Von dem Augenblicke an, wo rings um das Spermatozoenköpfchen eine Strahlensonne entsteht, zeigt der Dotter lebhafte innere Strömungen. Dass es sich hier um wirkliche Massenverschiebungen handelt, lehrten die Beobachtungen mit der Tauchlinse, sowie die ausgiebigen Conturveränderungen des Dotters, welche bis zur unregelmässig ellipsoidischen Form gehen können. Nahe der Peripherie wird der Dotter feinkörniger und heller, vielleicht durch die beginnende Lösung der Dotterkörperchen. Eine ähnliche Auflösung mag bei der Bildung und Vergrösserung derselben Radien der Strahlensonne stattfinden, während zugleich vielleicht auch noch ein Zurückdrängen von Dotterkörperchen in die zwischen den hellen Strahlen liegenden ruhenden Dotterpartien statthaben mag.

Auch der Eikern geräth in Bewegung. Mir schien es stets, als ob derselbe erst von dem Augenblicke an, wo die Dotterstrahlen der den Spermakern umgebenden Sonne ihn erreichten, in schwach amöboide Bewegung geriethe, gleich als würde er erst durch die letzteren veranlasst, seine Wanderung ins Centrum des Eies auf der durch die Protoplasmaradien vorgezeichneten Bahn anzutreten. Auf jeden Fall muss ich aber, im Gegensatz zu anderen Autoren, dem Eikern selbständige amöboide Bewegung zusprechen; vollends wie er durch das strömende Protoplasma bis in das Centrum des Dotters geschoben werden könnte, ist nicht abzusehen, da die Menge des in centripetaler und centrifugaler Richtung befindlichen Dotterplasmas doch gleich gross sein muss und der Eikern in beiden Richtungen gleich starken Anstoss erhalten würde, — es sei denn, dass im Dotter bestimmte strömende Protoplasmabahnen vorhanden wären, von denen die Beobachtung jedoch nichts weiss.

Ausnahmsweise geschieht es, dass das Spermatozoon in nächster Nähe des Eikerns eindringt, ich beobachtete diesen Fall mehrere Male. Dann wurde der Spermakern vom Eikern sozusagen abgefangen, und beide, neben einander gelagert, rücken dann langsam gegen das Centrum des Dotters vor. Eine Strahlensonne bildete sich in gewöhnlicher Weise.

3. Der Furchungskern.

Die Copulation vom Eikern und Spermakern zum Furchungskern ist schon von Auerbach, E. van Beneden, Bütschli u. A. gesehen worden; doch gebührt O. Hertwig das Verdienst, diesen Process zuerst richtig gedeutet zu haben.

Ich konnte diesen Akt der Verlöthung und endlichen Verschmelzung einmal mit grosser Genauigkeit erkennen (Fig. 14 *A* — 17). Bei günstiger Tagesbeleuchtung und mittels des Seibert'schen Immersionssystems IX beobachtete ich an einem im hangenden Tropfen untersuchten Ei, wie der Eikern, nachdem er hart an den Spermakern herangerückt war, plumpe

und träge Ausläufer gegen den kleineren Spermakern ausstreckte, eine Erscheinung, wie ich sie sehr häufig auch an anderen Eiern wahrgenommen habe, bis nach einer Minute der letztere in eine napfartige Vertiefung des sechs- bis achtmal so grossen Eikerns aufgenommen wurde und plötzlich eine Vereinigung, wie ein Zusammenfliessen beider, erfolgte. Ich glaubte anfangs, dass hier sofort eine innige Mischung, ein gegenseitiges Durchdringen der Materie beider Kerne stattfinde; später habe ich mich aber zur Genüge überzeugt, dass dieses erst später erfolgt, in einem beobachteten Falle sogar erst nach fünfzehn Minuten. Sowohl frische wie gehärtete Präparate zeigten mir, dass es sich vorläufig nur um eine Verlöthung handelt, indem die Grenze zwischen Spermakern und Eikern noch lange erhalten bleibt, ja oft durch Einkerbungen an den Polen des ellipsoidisch gewordenen Furchungskernes sich noch documentirt, bis endlich der Spermakern die Grösse des Eikerns erreicht hat und die Grenze zwischen beiden vollkommen verschwindet (Fig. 17). Diesen Process der anfänglichen Verlöthung und späteren Verschmelzung und Vermischung hat Auerbach schon mit grosser Genauigkeit beschrieben; wiewohl er den Werth und die Bedeutung der sich vereinigenden Kerne noch nicht kannte.

Auch jener Angabe von Auerbach muss ich beipflichten, dass die Längsaxe des durch Verschmelzung entstandenen Furchungskern-Ellipsoids sich bald schief zu jenem Eiradius stellt, längs welchem der Spermakern gegen das Centrum herangerückt ist. Doch kann man noch nicht wissen, ob eine solche Drehung des Furchungskern-Ellipsoids nicht etwa nur in solchen Fällen eintritt, wo dem Spermatozoon durch eine Mikropyle oder einen Dotterhügel der Ort des Eindringens vorgezeichnet ist. Bei Toxopneustes konnte ich einige Male eine Drehung der Längsaxe des Furchungs-Ellipsoids um 90 Grad constatiren; die erste Furchungsebene schneidet also, da das Spermatozoon in der Regel am Dotterhügel eindringt, den Ort, wo der letztere gelegen. Da aber der Dotterhügel auch den Ort bezeichnet, an welchem die Richtungskörper austraten, so kann man auch sagen, dass die erste Furchungsebene hier gewöhnlich mit jenem Eiradius zusammenfällt, welcher durch die Längsaxe der Kernspindel oder durch den Weg, längs welchem die Richtungskörper austreten, bezeichnet wird. Stossich hat daher gewissermassen Recht, wenn er behauptet: le vesichette direttrici non servono ad altro che a determinare il punto di partenza e la direzione della prima insolcatura; wenn man sich auch ernstlich verwahren muss gegen die hier den Richtungsbläschen imputirte Deutung. Doch darf nicht vergessen werden, dass das Spermaelement auch an anderer Stelle als am Dotterhügel eindringen kann, und dass dann nicht der Mikropylenhügel, sondern der Radius, längs welchem das Spermatozoon eingedrungen ist, für die Richtung der ersten Furchungsebene massgebend wäre! Näheres hierüber im folgenden Kapitel.

Diejenige Partie des Dotters, an welcher die Richtungskörper austreten, als formativen Pol aufzufassen, ist nach oben Mitgetheiltem nicht richtig; der Name globules polaires P. J. van Beneden's passt also für die Richtungskörper des Toxopneustes nicht.

Wenn mehrere Spermatozoen in den Dotter gelangen — was bekanntlich nur aus-

nahmsweise geschieht — so entwickelt sich nach FOL überhaupt keine oder eine monströse Larve. Bis zur Gastrula-Form konnte ich aber mehrere Eier von Toxopneustes variegatus, in welche 2, 3 und 4 Spermatozoen eingetreten waren, verfolgen, ohne dass sich eine Unregelmässigkeit in der Entwickelung nachweisen liess. Angesichts der Befunde FOL's und HERTWIG's möchte ich hierauf nicht viel Werth legen. Auf keinen Fall kann ich glauben, dass die Verschmelzung mehrerer Spermakerne mit dem Eikern eine normale Weiterentwickelung zur Folge haben könne. Denn bietet einmal die Raschheit, mit welcher die Dotterhaut sich abhebt, schon ein ziemlich sicheres Schutzmittel gegen das Eindringen mehrerer Spermatozoen, so geht ferner die Verlöthung von Ei- und Spermakern in allen beobachteten Fällen in so regelmässiger und eigenthümlicher Weise von statten, dass sich ein zweiter Spermakern gar nicht recht unterbringen lässt. Ein Verschmelzen der Spermakerne unter einander aber konnte ich ebensowenig wie FOL wahrnehmen, sondern im Gegentheil eine gegenseitige, durch die Dotterstrahlungen bedingte Abstossung. Wenn also ein Ei mit mehreren Spermakernen sich gleichwohl doch noch wenigstens eine Zeit lang normal entwickeln kann, so muss dabei eine Rückbildung der überschüssigen Spermakerne und endliche Resorption derselben angenommen werden.

III.

Die Furchung.

Ungefähr zwanzig Minuten, nachdem Eikern und Spermakern zusammengetroffen sind, um endlich zum Furchungskern zu verschmelzen, beginnt die Metamorphose des letzteren. Ich hatte früher vermuthet, dass die längsfaserige Differenzirung des elliptisch gewordenen Furchungskerns sich zuerst bemerkbar mache durch Einkerbungen an den Polen des Kernellipsoids, habe mich später aber überzeugt, dass diese Einkerbungen und Warzen nur Contractionserscheinungen der verlötheten, aber noch nicht innig verschmolzenen Theilstücke des Furchungskerns sind, dass sie aufhören, sobald der Kern die echte Spindelform angenommen hat.

Die bei der Theilung des Kerns in Betracht kommenden Vorgänge hat STRASBURGER, dann besonders BÜTSCHLI in seiner planvollen Arbeit über die Eizelle und die Zelltheilung genauer erkannt. Der Vorgang ist nämlich von nun an vollkommen derselbe, wie der der gewöhnlichen Kerntheilung: Es entsteht eine zweite Strahlensonne, sodass jeder Pol der Kernspindel zum Mittelpunkt eines Strahlensystems wird; die Centren derselben vergrössern sich zu hellen Höfen, und es entsteht jene hantelförmige oder »karyolytische« Figur AUERBACH's, für welche FOL den Namen Amphiaster vorgeschlagen hat, weil ja eine »Auflösung des Kernes« nicht eintritt. Das ganze Bild erinnert an einen in Eisenstaub getauchten Stabmagneten (vergl. H. v. JHERING, l. c.). Weiter erleidet der Furchungskern einen Zerfall in Kernfäden (STRASBURGER) oder Spindelfasern (BÜTSCHLI), welche sich in der Aequatorialebene des Kernes zu knotenähnlichen Anschwellungen verdicken und die sog. Kernplatte STRASBURGER's bilden, die jedoch bei thierischen Zellen (mit seltenen Ausnahmen) aus den einzelnen von einander getrennten Verdickungen der Kernfasern zusammengesetzt wird, also allermeist kein zusammenhängendes Gebilde ist. Diese Verdickungen theilen sich und rücken auf der Bahn ihrer Kernfasern gegen die Pole der Kernspindel, wobei jedoch ein Verbindungsstück der Fasern erhalten bleibt, sodass eine jede der Kernfasern nunmehr das Ansehen eines Fadens mit endständigen Knoten hat. Jene Knoten, die »Elemente der Kernplatte«, verschmelzen an jedem

Pole der Kernspindel und bilden die Furchungskerne zweiter Ordnung, indess der Aequator der Kernspindel sich verjüngt, die Kernfasern in der Mitte zerreissen und die Reste derselben in die verschmelzenden Vorkerne aufgenommen werden. Die Dotterstrahlungen, deren Centren anfangs von den Spitzen der Kernspindel, danach von den zu Furchungskernen Zweiter Generation verschmelzenden Kernfaserverdickungen eingenommen werden, führen die Furchung des Dotters herbei, verschwinden aber rasch, nachdem sich die Furchung vollzogen hat.

Diese Thatsache vermag ich in mehrfacher Hinsicht zu ergänzen.

Bald nachdem der Furchungskern die Ellipsoidform angenommen hat, tritt eine Scheidung seiner Substanz in die innere protoplasmatische Kernspindel und den sie umspülenden Kernsaft ein. Der letztere ist von seiner Umgebung, dem »hellen Hofe« der Strahlenfigur, schwer zu unterscheiden und leicht zu übersehen; daher die irrthümliche Meinung, dass die Kernspindel den geschrumpften ganzen Inhalt des Furchungskerns repräsentire! Der Kernsaft nimmt sichtlich rasch an Masse zu, dehnt sich zur Kugelform aus, bis sein Inhalt unter Zerreissung der äusseren Membran sich mit dem Dotter mischt; diese Membran ist schon von Bütschli genau abgebildet.

Während der sog. Spaltung der Kernplatte sah ich an den Spitzen der Kernspindel je ein kleines glänzendes Körperchen liegen. Nach O. Hertwig sollen dieselben Abkömmlinge des Nucleolus sein. Hierüber, wie über die Entstehung und den näheren Ursprung der Kernfasern oder deren Verdickungen kann ich keine neuen Beobachtungen beibringen, nur will ich hier ausdrücklich bemerken, dass die Furchungskerne zweiter Generation lediglich aus der Verschmelzung der Kernplattenelemente oder Vorkerne hervorgehen, ohne Betheiligung eines anderen geformten Gebildes!

Statt des schon auf die »Pronuclei« verwendeten Namens »Vorkerne« für die »Kernfaserelemente« schlage ich vorläufig den Namen Nucleoplasten oder Urkerne vor; besser noch würde man vermuthlich schlechtweg das Wort Nucleoli hier anwenden, wenn anders man in den Nucleoli der gewöhnlichen Zellen solche Gebilde erkennen will, welche sich lediglich durch ihre grössere Consistenz vom Kernsaft und Kernprotoplasma unterscheiden.

Die Zahl der Kernfasern, resp. ihrer äquatorialen Anschwellungen variirt etwa zwischen 14 und 24 (Fig. 18, *A*—*B*). Anfangs liegen sie, wie O. Hertwig auch bei Toxopneustes lividus angiebt, in gleichmässigen Abständen von einander, eingelagert in Zwischensubstanz. Sobald aber die Nucleoplasten, die, wie Bütschli und Fol schon nachwiesen, als Varicositäten der Kernfasern erscheinen, gegen die Enden der nunmehr zum Cylinder gewordenen Kernspindel herangerückt und je zwei oder doch nur wenige benachbarte derselben unter einander verschmolzen sind, ordnen sich diese Nucleoplasten zweiter Ordnung in einen Kreis, um weiter, wie mir stets schien, zu 6 Nucleoplasten vorletzter Ordnung zusammenzufliessen, welche die Form von konischen Stäbchen besitzen (Fig. 20—21). Auch diese verschmelzen auf jeder Seite zu je zwei Nucleoplasten letzter Ordnung (Fig. 22—24), und diese endlich langsam zu den Furchungskernen zweiter Generation (Fig. 26).

Während die Nucleoplasten unter einander verschmelzen, vergrössert sich ihr Gesammtvolumen sichtlich. Am deutlichsten tritt diese Erscheinung hervor an den Nucleoplasten letzter Ordnung, die weit langsamer als die ersteren unter einander verschmelzen; kaum hat sich nämlich ihre Vereinigung vollzogen, so vergrössert sich jeder der beiden neu entstandenen Furchungskerne zweiter Generation ganz plötzlich innerhalb einiger Secunden um das Doppelte seines Durchmessers, indem der Rest der Kernfasern in ihn hineinfliesst. Da mit der Verschmelzung der Vorkerne auch die Zahl der Kernfasern abnimmt, ihre Deutlichkeit und Dicke aber zunimmt, so ist wahrscheinlich, dass die Kernfasern unter einander ihrer ganzen Länge nach ebenfalls verschmelzen, während ein Theil ihrer Substanz in die Vorkerne continuirlich, in die Furchungskerne zweiter Generation dann aber plötzlich und unter Zerreissung der restirenden Kernfaserstränge einfliesst. In den abgeschnürten Richtungskörpern wie zwischen den Furchungskugeln kurz vor oder nach ihrer Trennung sahen Bütschli und Fol noch Reste dieser Spindelfasern, möglich also, dass Theile der Kernfasern häufig ausserhalb der Kerne liegen bleiben.

Die Verschmelzung der Nucleoplasten habe ich über ein Dutzend Mal beobachten können, und stets waren der Nucleoplasten letzter Ordnung jederseits zwei, der der vorletzten Ordnung sechs. Ich muss daher annehmen, dass die Vereinigung nach gewissen Symmetriegesetzen von Statten geht. In den zwei Nucleoplasten letzter Ordnung (an jedem Ende der hantelförmigen Figur) die beiden Repräsentanten des Eikern- und Spermakernrestes zu sehen, erscheint vorläufig unberechtigt, da die Anordnung der Kernfasern und deren Verdickungen anfangs jeder nachweisbaren Symmetrie entbehrt und die Grenze von Ei- und Spermakern sich ganz verwischt hat, ehe die faserige Differenzirung beginnt.

Sehr rasch nach Bildung der Furchungskerne zweiter Generation verschwinden die Strahlenfiguren, während der helle Hof, in welchem jene eingebettet liegen, erhalten bleibt (Fig. 26).

Was den Dotter betrifft, so flacht sich dieser zur Zeit, wo die Streckung des Kernes beginnt, in der Verlängerungsaxe der Kernspindel ein wenig ab, verlängert sich danach wieder in dieser Richtung und geht in die Biscuitform über. Entweder nun vollzicht sich zugleich mit der Theilung des Furchungskernes auch die Abfurchung des Dotters, wie gewöhnlich geschieht, oder aber die erste Ringfurche verliert sich wieder vollständig, um erst zugleich mit der zweiten rechtwinkelig zu ihr stehenden Dotterfurche wiederzukehren, also erst, nachdem schon vier Furchungskerne gebildet sind. Beide Bildungsmodi muss ich für normal ansprechen, da beide eine normale Weiterentwickelung einleiten. Die Verschiedenheit ist vielleicht nur bedingt durch die verlangsamte oder beschleunigte Theilung des ersten Furchungskerns, bezw. dem mehr oder weniger raschen Verschwinden der radiären Dotterstrahlungen.

Die oben erwähnte automatische Rindenschicht, welche den Dotter des reifen Eies umgiebt, und von welcher sich nach erfolgter Befruchtung die Dotterhaut abgehoben hatte, gelangt, wie erwähnt wurde, zum Theil zugleich mit dem Spermatozoon in das Innere des Eies,

vielleicht sogar bis in das Centrum der Strahlensonne; zum grössten Theile jedoch wandert es später, nämlich während der Abfurchung des Eies, in die Furchungshöhle, um hier an der Bildung des sog. Gallertkernes sich zu betheiligen.

Die oben geschilderten Veränderungen des befruchteten Eies vollziehen sich in folgenden Zeitabschnitten.

5 Minuten nach Vermischung von Ei und Same. Das Spermatozoon ist schon in den Dotter eingedrungen. Rings um sein Köpfchen entstehen einzelne helle Dotterstrahlen.

10 Minuten. Das Spermatozoon ist im Centrum des Eies angelangt. Die Dotterstrahlung durchsetzt fast schon das ganze Ei. Der Dotter ist überall in Bewegung, der Contur des Eies ist runzelig und unregelmässig.

12 Minuten. Der Eikern gelangt durch amöboide Bewegung zu dem mit einem hellen Hof umgebenen Spermakern.

20 Minuten. Verlöthung des Eikerns mit dem Spermakern zum Furchungskern.

25 Minuten. Der Furchungskern tritt in ein Ruhestadium ein und zeigt zunächst keine Gestaltveränderungen mehr.

38 Minuten. Der Furchungskern hat sich in eine festere faserige Kernspindel und den umgebenden Kernsaft differenzirt.

46 Minuten. Die äquatoriale Kernplatte theilt sich.

52 Minuten. Zwölf bis vierundzwanzig Nucleoplasten (die Elemente der Kernplatte) sind jederseits an die Enden der cylindrischen Kernspindel gerückt.

56 Minuten. Die Nucleoplasten sind jederseits zu 6, im Kreise stehenden kegelförmigen Nucleoplasten vorletzter Ordnung verschmolzen. Der Dotter ist biscuitförmig.

57 Minuten. Jederseits sind die 6 Nucleoplasten vorletzter Ordnung zu 2 Nucleoplasten letzter Ordnung verschmolzen.

59 Minuten. Die beiden Nucleoplasten letzter Ordnung jederseits halb verschmolzen. Die beiden Furchungskugeln hängen nur noch durch eine schmale Brücke zusammen.

63 Minuten. Die beiden Nucleoplasten letzter Ordnung in jeder Furchungskugel zu je einem Furchungskern zweiter Generation vereinigt. Die beiden Furchungskugeln getrennt. Die automatische Rindenschicht hat sich auf den einander zugekehrten Hälften der Furchungskugeln angesammelt.

65 Minuten. Collaps der beiden Furchungskugeln.

Literaturverzeichniss.

O. Hertwig, Beiträge zur Kenntniss der Bildung, Befruchtung und Theilung des thierischen Eies in: Gegenbauer's Morphol. Jahrb. Bd. I, 1876, p. 347—434. Taf. X—XIII. — Bd. III, 1877, p. 1—86. Taf. I—V. — Bd. III, 1877, p. 271—279.

Fol, Die erste Entwicklung des Geryonideneies. Jenaische Zeitschr. f. Med. u. Naturw. Bd. VII, p. 471—492.

O. Bütschli, Studien über die ersten Entwicklungsvorgänge der Eizelle, die Zelltheilung und die Conjugation der Infusorien. Frankf. a. M. 1876: Separatabdruck aus den Abhandl. d. Senkenb. Naturf.-Ges. Bd. X.

E. van Beneden, Contributions à l'histoire de la vesicule germinative et du premier noyeau embryonaire, in Bull. de l'Acad. roy. de Belgique II Sér. Tome LXI. No. 1. Bruxelles 1876.

L. Auerbach, Organologische Studien, I.—II. Heft. Breslau 1874.

H. Fol, Sur les phénomènes intimes de la division cellulaire. Comptes rendus 1876.

H. Fol, Sur le commencement de l'hénogénie chez divers animaux. Archives des sciences phys. et nat. de la Bibl. univ. et Revue suisse. Genève. Tome LVIII, Avril 1877.

E. Selenka, Beobachtungen über die Befruchtung und Theilung des Eies von Toxopneustes variegatus. Vorläufige Mittheilung. Sitzungsberichte d. phys.-med. Gesellsch. zu Erlangen. Heft X. Erlangen 1877.

R. Greeff, Ueber den Bau und die Entwicklung der Echinodermen, V. Mittheilung. Sitzungsber. d. Ges. z. Bef. d. ges. Naturwiss. zu Marburg, 1876. No. 5.

E. Strasburger, Ueber Zellbildung und Zelltheilung. Jena 1875.

M. Stossich, Sopra lo sviluppo delle serpule. Estratto dal Bollett. delle scienze nat. N. 3. Annata III (1876).

M. Stossich, Trasformazione della vesica germinativa e sua importanza nella segmentazione del tuorlo. Ebenda, N. 2. Annata III (1877).

Ein genaueres, hier einschlägiges Literaturverzeichniss, sowie eine historische und kritische Zusammenstellung desselben findet sich bei

H. v. Jhering, Befruchtung und Furchung des thierischen Eies und Zelltheilung. Leipzig 1878 (Vorträge f. Thierärzte I, Heft 4).



Erklärung der Abbildungen.

Alle Präparate sind, wenn nicht das Gegentheil angegeben ist, nach frischen, am hangenden Tropfen in der feuchten Kammer untersuchten Eiern mit der Camera gezeichnet, und zwar Fig. 8—15, 17—22, mittels Objectiv SEIBERT IX, die übrigen Figuren mittels Objectiv HARTNACK X.

Fig. 1. Querschnitt durch einen Ast des Ovariums. Osmium-Chromsäure-Präparat. Mehrere Einzelheiten nach frischen Präparaten eingezeichnet.

a. Ovarialwand, homogene Stützmembran.

b. Aeusserer Muskelbelag.

c. Junge Eizelle.

d. Eizelle, an welcher innere, mittlere und äussere Dotterschicht zu unterscheiden ist. Die Bildung der die Ernährung vermittelnden Pseudopodien beginnt.

e. Befruchtungsfähiges Ei (nach Ausstossung der Richtungskörper). — ε Dotterhügel.

f. Raum aus welchem vor Kurzem ein Ei sich befreit hat.

g. Keimbläschen mit Protoplasmanetz.

x. Sterile Eier oder Nährzellen.

Fig. 2. Junges Ei. Das Keimbläschen *K*, bestehend aus dem Protoplasmanetze mit dem Keimfleck und dem Kernsafte, ist schon unregelmässig gestaltet; man unterscheidet eine innere, mittlere (*R*) und äussere Dotterschicht. Letztere entsendet vereinzelte körnchenfreie Pseudopodien (*B*) in die Gallertzone *G*. Der ganze Dotter ist überall in stetiger, wenn auch langsamer Bewegung.

Fig. 3. Aelteres Ei. Im Keimfleck zeigen sich Vacuolen.

R. Mittlere Dotterschicht.

G. Gallertmantel.

B. Die Pseudopodien der äusseren Dotterschicht sind zahlreicher geworden und nehmen die Gestalt radiärer Fäden an.

Fig. 4. Die Zona radiata ist fertig gebildet, die Pseudopodien sind unbeweglich geworden. Das Ei hat seine definitive Grösse erreicht.

i innere,

R mittlere,

a äussere Dotterschicht.

Fig. 5. Aelteres ausgewachsenes Ei. Die radiären Protoplasmastrahlen der Zona radiata ziehen sich in den Dotter zurück. Die drei Dotterschichten sind zusammengeflossen. Das geschrumpfte Keimbläschen mit dem in Auflösung begriffenen Keimfleck liegt schon excentrisch.

Fig. 6. Das befruchtungsfähige Ei. Zwei Richtungskörper ρ und ρ', von denen der eine sich nachmals theilt, sind ausgestossen (nach Osmium-Präparaten eingezeichnet). Der im Dotter zurückgebliebene Rest der Richtungsspindel wird zum Eikern *Eik*. Der Dotter ist von einer automatischen Rindenschicht *P* umgeben. Nahe den Eikern-Constituenten der Dotterhügel.

Fig. 7. Unmittelbar nach der Vermischung von Ei und Sperma. Drei Spermatozoen sind durch den Gallertmantel eingedrungen.

Eik. Eikern.

M. Dotterhügel.

Fig. 8. Der Dotterhügel mit nächster Umgebung. Das Spermatozoon hat die automatische Rindenschicht durchbohrt.

Fig. 9. Das Spermatozoon hat den Dotter angebohrt. Die automatische Rindenschicht geräth in Bewegung.

Fig. 10. Von der automatischen Rindenschicht hebt sich die Dotterhaut *D* ab.

Fig. 11. Das Spermatozoon dringt durch peitschenartige Bewegung tiefer in den Dotter ein. Ein Theil der automatischen Rindenschicht *b* gelangt zugleich mit in den Dotter. Die Dotterhaut hat sich schon weit abgehoben, steht aber hie und da noch durch einzelne Protoplasmafäden *y* mit der Rindenschicht *P* in Verbindung.

Fig. 12. Acht Minuten nach Vermischung von Ei und Same. Das Spermatozoon ist zur Ruhe gekommen; sein Kopf ist von einer Strahlensonne umgeben, sein Schwanz von einem Strahlenbüschel der Rindenschicht umfasst. Der Gallertmantel *G* ist fast verschwunden.

Fig. 13. Zwölf Minuten nach Vermischung von Ei und Same.

Spk. Spermakern.

k. Stiletförmige Spitze desselben.

Eik. Eikern, in amöboider Bewegung begriffen.

m. Strasse hellen Protoplasmas, zum Theil aus der Rindenschicht eingewandert.

P. Automatische Rindenschicht,

D. Dotterhaut,

y. Protoplasmastrang zwischen beiden.

Fig. 14. *A.* Eikern und Spermakern einander nahe gerückt.

Fig. 14. *B.* Eikern und Spermakern im Augenblicke der Verschmelzung.

Fig. 15. Einundzwanzig Minuten nach der Befruchtung. Furchungskern mit Umgebung. Gegenüber der ersten Sonnenfigur mit ihrem Centrum *S* entsteht die zweite mit dem Centrum *S'*.

x. Strasse hellen Protoplasmas, den Weg bezeichnend, welchen das Spermatozoon eingeschlagen hatte.

Fig. 16. Ganzes Ei. Fünfundzwanzig Minuten nach der Befruchtung.

F. Furchungskern.

S. erste,

S'. zweite Sonnenfigur.

B. Büschel der Rindensubstanz, abnormer Weise hier noch erhalten.

D. Dotterhaut.

Die hantelförmige Figur (Amphiaster) hat sich schon gegen den durch den ursprünglichen Dotterhügel (*B*) gelegten Eiradius gedreht.

Fig. 17. Späteres Stadium. Der Dotter hat sich in der Axe der karyolytischen Figur abgeplattet. Der Furchungskern zeigt bei seiner ziemlich energischen Eigenbewegung noch die Verwachsung aus zwei Kernen.

o. Ort, wo das Spermatozoon eindrang: *m m'* helle körnchenfreie Protoplasmastrassen in der Axe des Amphiaster.

Fig. 18. *A.* Sechsundvierzig Minuten n. d. Befr. Furchungskern mit den hellen Höfen, welche letztere an Grösse bedeutend zugenommen haben. Die Kernplatte hat sich schon getheilt. Osmiumpräparat.

Fig. 18 *B*. Die Kernplatte im optischen Querschnitt.

Fig. 19. Zweiundfünfzig Minuten n. d. Befr. Der Furchungskern zeigt die Gestalt eines Cylinders.
S. Centrum der ersten,
S'. der zweiten Sonnenfigur.
b. Stark lichtbrechendes Körperchen an den Polen der Spindel.

Fig. 20. Vierundfünfzig Minuten n. d. Befr. Die Elemente der Kernplatte, Nucleoplasten, sind an die Polenden des Kerncylinders gerückt. Die Verschmelzung derselben beginnt.

Fig. 21. Sechsundfünfzig Minuten n. d. Befr. Die Elemente der Kernplatte zu je sechs Nucleoplasten vorletzter Ordnung verschmolzen.

Fig. 22. Eine halbe Minute später. Die Nucleoplasten vorletzter Ordnung jederseits zu zwei Nucleoplasten letzter Ordnung verschmolzen. Die Kernfasern haben eine messbare Dicke erreicht.

Fig. 23. Siebenundfünfzig Minuten n. d. Befr. Die Nucleoplasten letzter Ordnung in Berührung. Der Dotter nimmt Biscuitform an. Das Protoplasma der Rindenschicht *P* zieht sich in die Furchungsrinne hinein. Die hellen Höfe der Sonnenfiguren haben das Maximum ihrer Ausdehnung erreicht und sind am weitesten von einander entfernt.

Fig. 24. Zwei Minuten später.

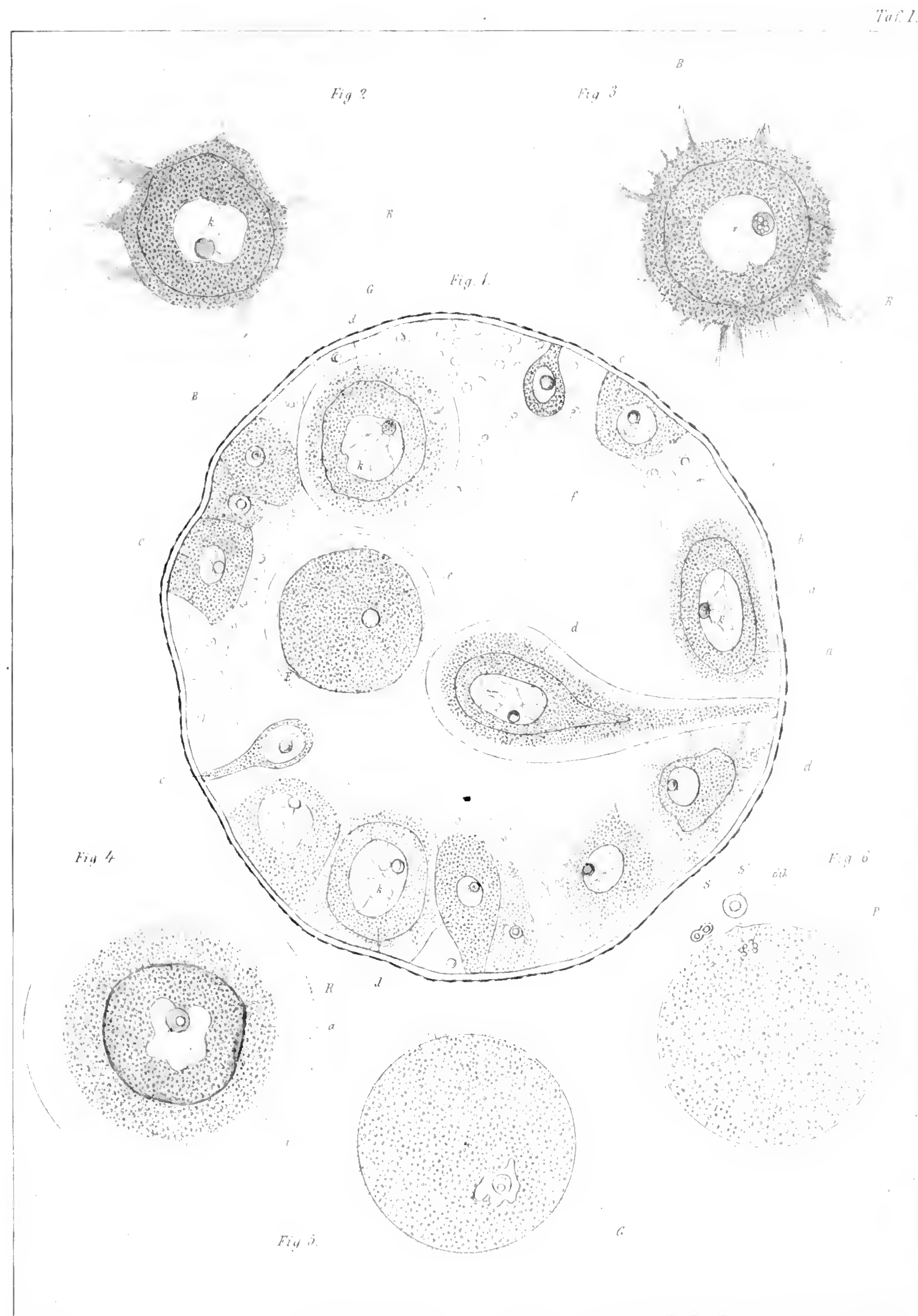
Fig. 25. Dreiundsechzig Minuten n. d. Befr. Zwei Furchungskugeln sind gebildet; sie berühren sich nicht direkt, sondern zwischen ihnen befindet sich eine Lage Protoplasma, der Rindenschicht entstammend; die Dotterstrahlungen sind nahezu verschwunden.

Fig. 26. Einundsiebenzig Minuten n. d. Befr. Die beiden Furchungskugeln collabiren, die Furchungskerne sammt ihren hellen Höfen rücken wieder gegen einander. Die Sonnenfiguren sind ganz verschwunden.

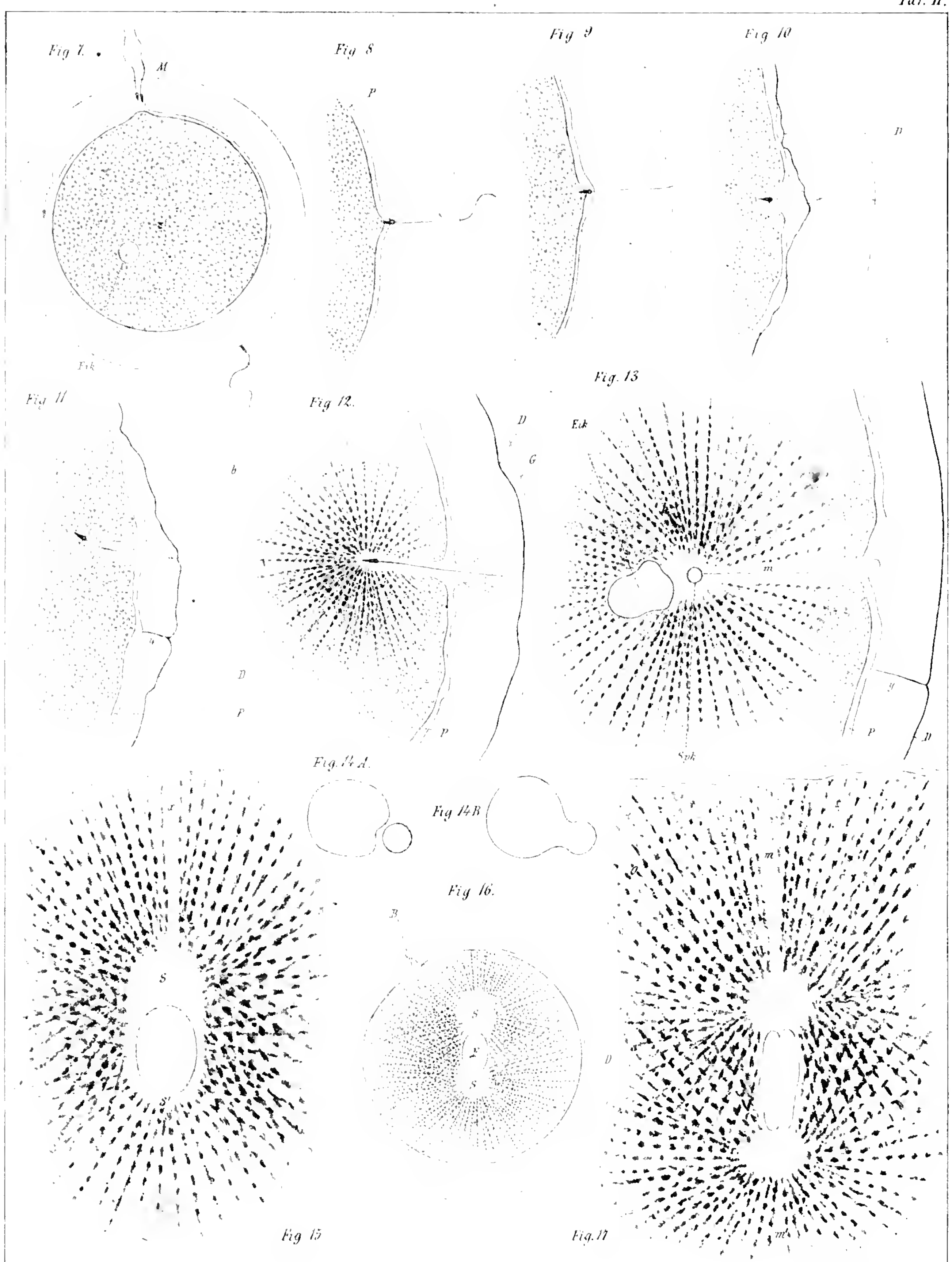
Fig. 27. Siebenundsiebenzig Minuten n. d. Befr. Abnormer, jedoch nicht pathologischer Weise hat die erste Furchungsrinne sich wieder verloren, während der Kern sich getheilt hatte. Die Furchungskerne zweiter Ordnung in Theilung begriffen. Conturen und Dotterstrahlung nach frischen Eiern, die Furchungskerne nach Osmiumpräparaten eingezeichnet.

Druck von Breitkopf und Härtel in Leipzig

Taf. I.



Selenka gez.


Fig 7.
M
Fig 8
P
Fig 9
Fig 10
D
Fig 11
b
D
P
Fig 12.
D
G
P
Fig. 13
m
P
D
Fig. 14 A.
Fig 14 B
Fig 16.
B
D
m
Fig 15
Fig. 17

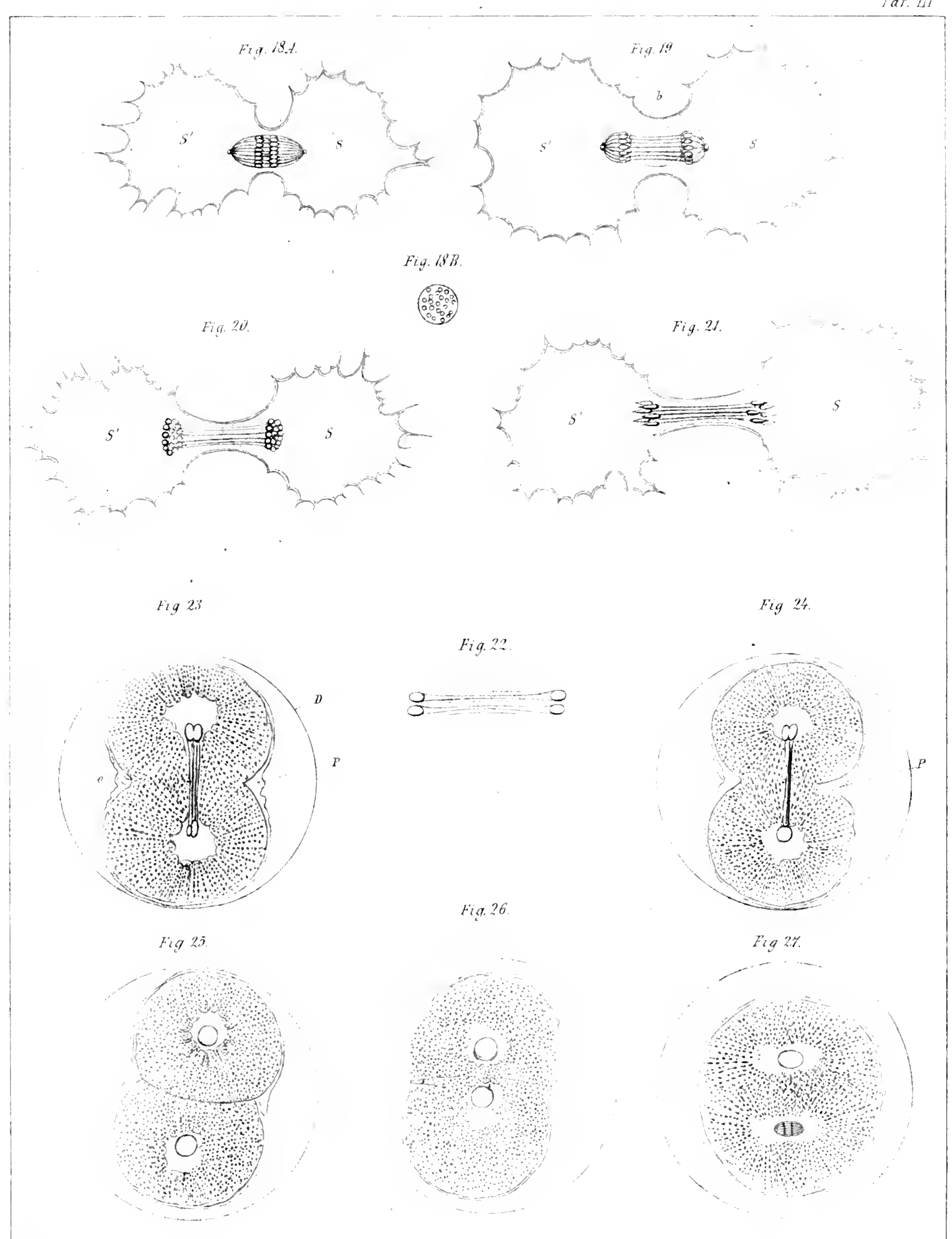


Fig. 18A.
S'
S
Fig. 19
b
S'
S
Fig. 18B.
Fig. 20.
S'
S
Fig. 21.
S'
S
Fig 23
D
P
e
Fig. 22.
Fig 24.
P
Fig. 26.
Fig 25.
Fig 27.

